云 南 植 物 研 究 2008, 30 (2): 227～231
Acta Botanica Yunnanica DOI: 10.3724/SP. J. 1143. 2008. 07214

盐胁迫对互花米草种子萌发及胚生长的影响*

苑泽宁, 石福臣**
(南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要: 以1/2 Hoagland 溶液为基础培养液, 研究了 1×10^4 - 6×10^4 mg/L NaCl 对互花米草 (*Spartina alterniflora*) 种子萌发的影响。结果表明, 互花米草种子在萌发阶段胚芽鞘和胚轴生长先于胚根和胚芽; 当盐浓度不超过 3×10^4 mg/L 时, 互花米草种子的萌发率未受到影响, 种子萌发及胚生长的适宜盐浓度为 1×10^4 mg/L, 盐浓度对胚的不同部位生长的抑制程度不同, 随着盐浓度的升高, 胚根、胚芽的长度呈明显下降趋势, 但盐浓度对胚轴、胚芽鞘生长的抑制作用较小, 有利于已萌发的互花米草幼苗快速出土, 迅速适应多变的潮间带环境。

关键词: 互花米草; 盐胁迫; 种子萌发; 胚生长
中图分类号: Q945.34 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-2700(2008)02-227-05

Effect of Salt Stress on Seed Germination and Embryo Growth of *Spartina alterniflora* (Gramineae)

YUAN Ze-Ning, SHI Fu-Chen**
(*College of Life Sciences, Nankai University*, Tianjin 300071, China)

Abstract: In this paper, the effect of NaCl concentration (1×10^4 - 6×10^4 mg/L) on the seed germination of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) was investigated using 1/2 Hoagland as the basic culture solution. The results indicated that the coleoptile and embryonal axis grew before the radicle and plumule in the stage of germination. Salinity level had no influence on the seed germination percentage when the salt concentration didn't exceed 3×10^4 mg/L. The optimal salinity level for seed germination and embryo growth was 1×10^4 mg/L. The inhibit effect of salt concentration on the growth of embryo's different part was different, and the length of radicle and plumule decreased significantly with the increase of salt concentration. However, the lesser inhibition on the embryonal axis and coleoptile was observed under the higher salt concentration, and thus the seedlings out of soil were ensured and the species was quickly adapted to the environment of inter-tidal zone.

Key words: Smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*); Salt stress; Seed germination; Embryo growth

互花米草 (*Spartina alterniflora* Loisel.) 是禾本科米草属植物, 生长在经常被潮水淹没的潮间带, 原产美洲大西洋沿岸, 1979 年从美国引入我国南方地区 (徐国万和卓荣宗, 1985)。目前, 在我国南起广西北海、北至天津塘沽及辽宁盘锦等沿海地区均有分布 (国家海洋局, 2007), 形成了盐沼生境的优势种群。互花米草主要通过种子和根状茎繁殖 (Mooring 等, 1971; Gallagher 等, 1984; Plyler 等, 1993), 种子随海水漂流, 利于传播与扩散 (Ayres 等, 2003), 因此, 种子繁殖是其进入新生境的主要方式 (孙飒梅, 2005)。种子能否在盐胁迫下萌发成幼苗, 是植物在盐碱条件下生长发育的前提。在原产地, 通过对互花米草种子耐盐性的研究表明, 在较高的盐浓度下

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (30470179) 和天津市农业科技合作项目 (0504018)
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: fcshi@nankai.edu.cn; Tel Fax: 022-23502477
收稿日期: 2007-09-10, 2008-01-11 接受发表
作者简介: 苑泽宁 (1971-) 女, 在读博士研究生, 副教授, 主要从事植物生理生态学和生殖生物学方面的研究。

互花米草的幼苗能够生存，增加了其竞争的机会(Wijte and Gallagher，1996a，b)。在我国南方一些地区，由于互花米草的扩散，滨海海滩湿地的生物群落结构发生了改变（欧健和卢昌义，2006)，在我国北方（如海河三角洲湿地)，该物种也表现出快速扩散的趋势。

互花米草在沿海滩涂迅速扩散与其耐盐特性密切相关。目前，关于互花米草耐盐性的研究主要集中在生长过程中生理生态特性方面（张正仁等，1985；肖强等，2005；陈瑶等，2005)，而对于其种子萌发阶段耐盐性的研究较少。本试验以分布在天津滨海滩涂的互花米草种子为研究对象，通过对不同 NaCl 浓度下种子萌发进程、种子萌发特性及胚的不同部位生长与盐浓度相关性的研究，揭示其在我国北方地区快速扩散、对滨海盐沼生境的适应机制。

1 材料与方法

1.1 研究材料

互花米草的种子采自天津滨海滩涂互花米草自然居群（北纬 38°33′～40°14′，东经 116°42′～118°03′)，在 11 月份，随机采集成熟的种子，于 4×10^4 mg/L NaCl 溶液中贮存（0～4℃）至第二年 3 月。

1.2 研究方法

选择饱满、整齐的种子，剥去颖片和稃片，用 0.1% $KMnO_4$ 消毒 10 min，用清水冲洗干净。采用纸上发芽法，选用带盖平皿（直径 90 mm)，皿内放置三层滤纸，每个皿内 30 粒种子，5 个重复。以 1/2 Hoagland 溶液为对照，各处理组分别为含 1、2、3、4、5、6×10^4 mg/L NaCl 的1/2 Hoagland 培养液。置于 LRH-250-GSⅡ微电脑控制人工气候箱昼 26℃（14 h)、夜 16℃（10 h）条件下培养，皿中溶液以浸没种子为宜，每天开盖通气，定期更换培养液。试验周期为 30 d。

1.3 数据测量与统计分析

种子的萌发以胚芽鞘伸长 0.5 cm 计，每 2 d 统计已萌发的种子数，每 5 d 测量已萌发种子的胚轴、胚芽鞘、胚芽、胚根的长度，每个重复随机选择 10 粒，不足 10 粒的以实际萌发的数量计，记录发芽进程，计算发芽率、萌发指数、萌发活力指数（徐本美和顾增辉，1983)以及相对萌发率、相对萌发指数、相对萌发活力指数(李磊等，2000)。采用种子萌发第 30 d 的胚轴、胚芽鞘、胚芽、胚根的长度，分析胚的不同结构部位的生长与盐浓度的相关性。

用 SPSS13.0 进行差异显著性分析，通过 Origin 7.0 绘图，分析种子的萌发特性、胚的不同结构部位与盐浓度变化的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的盐溶液对种子萌发进程的影响

由图 1 可见，种子的萌发始于胚芽鞘的伸长，随后胚轴伸长。胚芽鞘与胚轴在培养 5 d 时均已长出，胚轴在 10 d 后不再明显伸长，胚根开始长出。15 d 时胚芽已突破胚芽鞘，20 d 时胚芽鞘的平均长度达到最大。随着培养时间的延长，胚芽与胚根继续生长，形成幼苗。

不同的 NaCl 浓度对胚轴的影响主要表现在，培养 5～10 d 时，高盐浓度产生的抑制作用大于低盐浓度，随着培养时间的延长，这种抑制作用逐渐减弱。高盐浓度处理组对胚芽鞘的抑制作用不大，但对胚根、胚芽的抑制作用很强，在 25 d 时，胚根、胚芽才伸出，而低盐浓度处理组（1×10^4 mg/L）在 25 d 时，胚芽的长度与对照组差异不显著。种子萌发及幼苗长势随着盐浓度的升高均呈下降趋势。

2.2 种子萌发特性与盐浓度间相关性分析

由表 1 可见，当盐浓度介于 1～3×10^4 mg/L 之间时，互花米草种子萌发率与对照组差异不显

表 1 不同盐浓度下互花米草种子的萌发特性

Table 1 Germination character of *S. alterniflora* seeds in various salinity levels

盐浓度 Salinity levels ($\times10^4$ mg/L)	0 (Control)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
萌发率 GP (%)	100.00±0.00a	98.00±1.70a	98±1.70a	98±1.70a	83±0.60b	71±1.70c	66±2.30d
相对萌发率 RGP (%)	100.00	98.00	98.00	98.00	83.33	71.00	65.67
萌发指数 GI	23.87±1.22a	21.33±0.42b	19.20±0.53c	18.40±0.53c	15.87±0.42d	9.07±0.70e	7.27±1.10f
相对萌发指数 RGI	1.00	0.92	0.80	0.77	0.66	0.38	0.30
萌发活力指数 GVI (cm)	179.45±8.40a	102.83±2.01b	81.60±2.25c	68.08±1.96d	49.19±1.29e	22.30±1.73f	4.94±0.75g
相对萌发活力指数 RGVI	1.00	0.58	0.45	0.34	0.27	0.12	0.03

注：表中同一行中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）. Values in each row with the same letters are not significantly different ($P<0.05$) .

GP: Germination percentage; RGP: Relative germination percentage; GI: Germination index; RGI: Relative germination index; GVI: Germination vigorous index; RGVI: Relative germination vigorous index

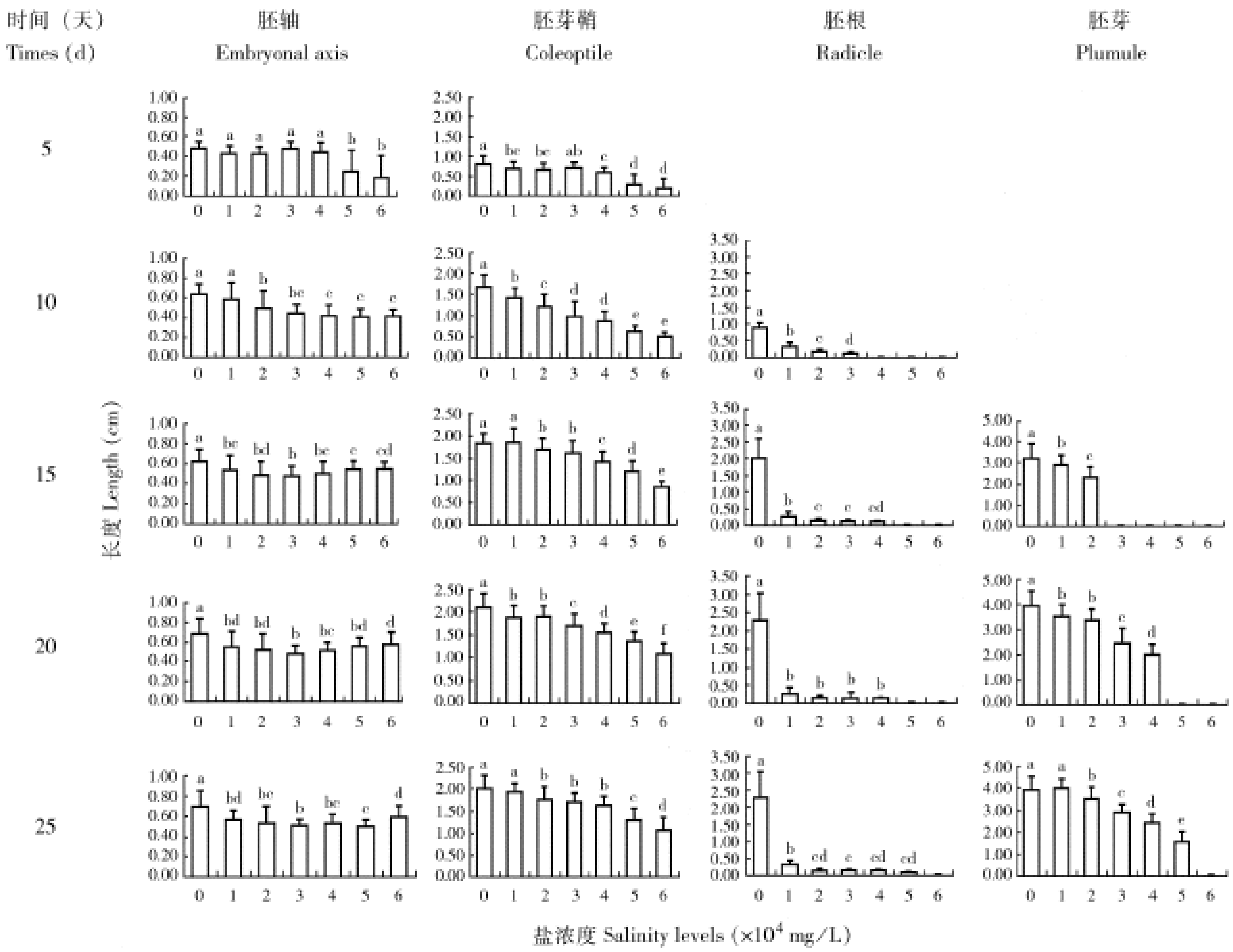

图 1　不同浓度的盐溶液对互花米草种子萌发的影响（不同字母表示各处理间差异显著（$P<0.05$））

Fig.1　Effects of the seed germination under different salinities of *S. alterniflora*

Data with the same letter within treatment are not significantly different ($P<0.05$)

著（$P<0.05$），意味着低盐浓度不会明显影响互花米草种子萌发，当盐浓度介于 4×10^4～6×10^4 mg/L 时，萌发率有所降低[(分别为 (83±0.60)%、(71±1.70)%和 (66±2.30)%)]。对照组萌发活力指数为 179.45±8.40 cm，在 1×10^4 mg/L 盐溶液中为 102.83±2.01 cm，显著高于其它盐溶液处理组。由图 2 可知，随着盐浓度的升高，萌发指数和萌发活力指数均呈现极显著的线性负相关关系（$P<0.001$），表明随着盐浓度的增加，种子的萌发及胚的生长受到的抑制作用逐渐增强。

2.3　胚的不同结构部位生长与盐浓度间的相关性分析

由图 3 可知，在培养 30 d 时，互花米草种子胚的不同部位对盐浓度变化的响应曲线不同。胚芽鞘长度与盐浓度之间呈线性负相关关系，但高浓度的盐对其产生的抑制作用不大。胚轴的生长与盐浓度之间表现为二次函数关系，当盐浓度低于 3×10^4 mg/L 时，胚轴的长度随着盐浓度增加而减小，超过此浓度，由于互花米草种子的适应性，盐浓度的抑制作用逐渐减弱。胚芽、胚根的长度与盐浓度间呈指数递减关系，高盐浓度对胚根和胚芽的生长所产生的抑制作用大于胚轴和胚芽鞘，其中胚根对盐胁迫更加敏感。

3　讨论

互花米草种子的萌发具有独特的生长过程，首先始于胚芽鞘的伸长，这与禾本科植物如小麦、玉米萌发时胚根先伸出的现象不同，并且，胚芽鞘和胚轴的生长时间及生长速度均优先于胚根和胚芽（图 1）。潮间带生境中土壤盐浓度随季节变化而不同，春季，随着降雨量的逐步增加，

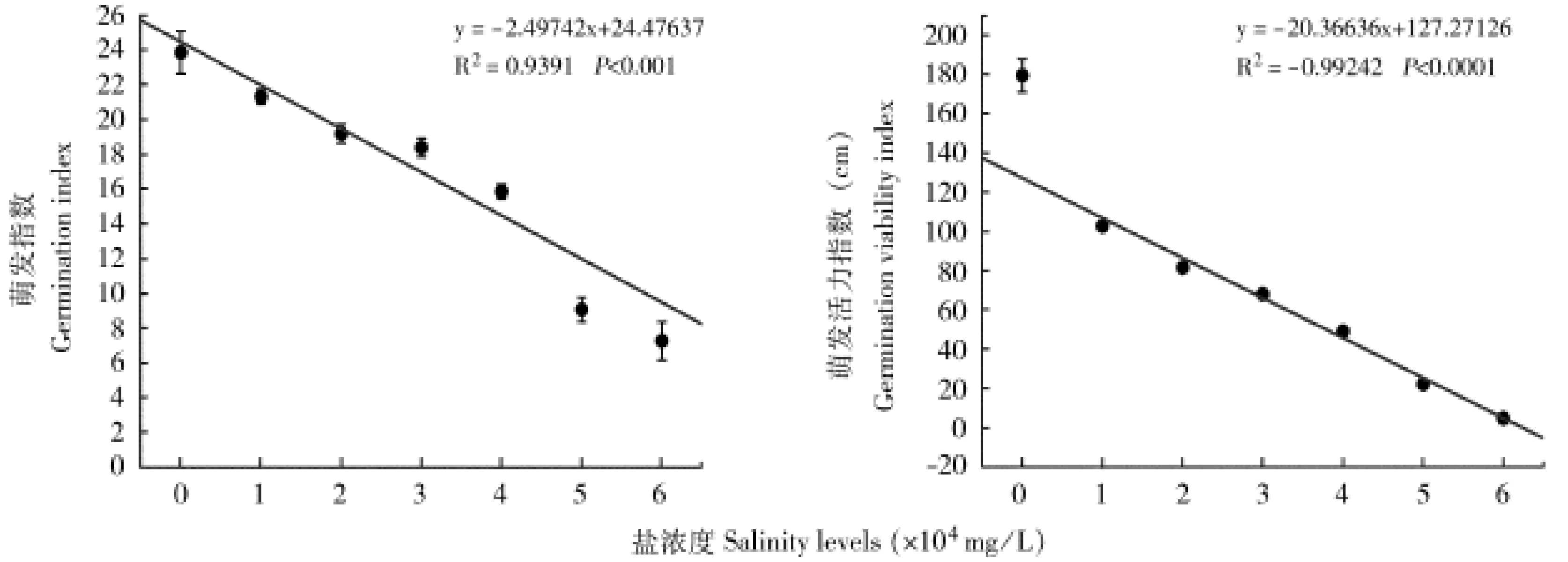

图 2 互花米草种子萌发特性与盐浓度的相关性

Fig . 2 The relativities between the character of the seed germination of *S*. *alterniflora* and the salinity concentrations

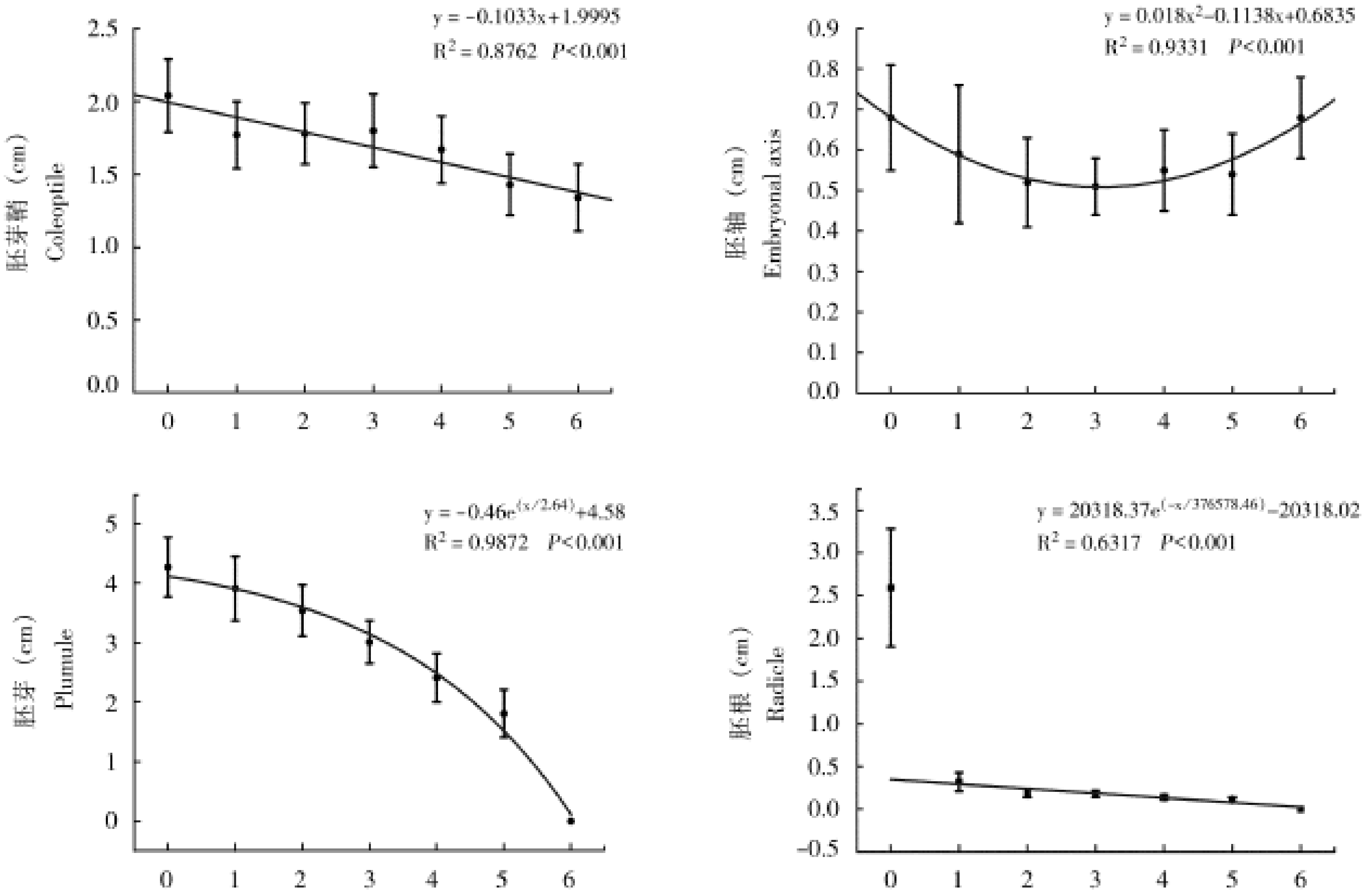

图 3 互花米草种子胚的不同部位长度与盐浓度的相关性（培养 30 d 时）

Fig . 3 The relativities between the different parts of embryo′s length of *S*. *alterniflora* and the salinity concentrations (culture time: 30 d)

潮间带生境盐浓度下降，有利于互花米草种子萌发。低盐浓度还有利于促进互花米草的生长（石福臣和鲍芳，2007）。

随着盐浓度的增加，互花米草种子的萌发及胚的生长受到的抑制程度逐渐加重，与其它耐盐植物在盐胁迫下的萌发规律相似（Gulzar and Khan，2001；张洁明等，2006）。但互花米草种子的萌发率在 1～3×10^4 mg/L 的盐浓度下与对照组差异不显著（$P<0.05$），在 4×10^4 mg/L，5×10^4 mg/L, 6×10^4 mg/L 的盐溶液中仍保持较高的萌发率（表 1），说明在萌发阶段种子的耐盐性较强，这种适应的生存策略对于幼苗建成是重要的

(Wijte and Gallagher，1996b)。萌发指数和萌发活力指数反映种子的萌发及幼苗的生长情况。本研究中，1×10^4 mg/L 盐浓度下，萌发指数和萌发活力指数显著高于其它盐溶液处理组（表 1，图 2)，而天津滨海滩涂盐沼平均含盐量为 1.12%～1.19%（相当于 $1.12\sim1.19\times10^4$ mg/L)（曹大正等，2005)，意味着天津滨海滩涂比较适合互花米草种子正常萌发生长，利于种群的扩散。盐溶液对互花米草种子胚的不同部位的抑制程度不同，抑制顺序为：胚根 > 胚芽 > 胚轴 > 胚芽鞘 (图 3)，对胚轴和胚芽鞘的抑制作用较小，有利于萌发的互花米草幼苗快速出土，为根系的形成创造有利条件，对于幼苗建成起到重要作用。

互花米草的有性繁殖对开拓新生境有非常重要的意义（王卿等，2006)，其种子强大的萌发能力以及对盐浓度的耐受性，使其具有较强的定居与扩张能力，也是该物种能够在我国北方地区快速扩散的机制之一。

〔参　考　文　献〕

国家海洋局，2007．2006 年中国海洋环境质量公报［OL］. http://www.soa.gov.cn/hygb/2006hyhj/index.html

Ayres DR，Strong DR，Baye P，2003．*Spartina foliosa* (Poaceae)—a common species on the road to rarity?［J］. *Madrono*，**50** (3)：209—213

Cao DZ (曹大正)，Wang YS (王银生)，Zhang DR (张冬然) *et al.*，2005．Application of *Spartina alterniflora* on blow-fill-construct sea wall engineering［J］. *Engin Sci* (中国工程科学)，**7** (7)：14—23

Chen Y (陈瑶)，Zheng HL (郑海雷)，Xiao Q (肖强) *et al.*，2005．Effects of salinity on oxidative and antioxidative system of *Spartina alterniflora*［J］. *J Xiamen Univ* (Nat Sci) (厦门大学学报 (自然科学版))，**44** (4)：576—579

Gallagher JL，Wolf PL，Pfeiffer WJ，1984．Rhizome and root growth rates and cycles in protein and carbohydrate concentrations in Georgia *Spartina alterniflora* Loisel. plants［J］. *Amer J Bot*，**71** (2)：165—169

Gulzar S，Khan MA，2001．Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides*［J］. *Ann Bot*，**87** (3)：319—324

Li L (李磊)，Zhao TF (赵檀方)，Hu YJ (胡延吉)，2000．Study on identity indicators of salt tolerance at germinated stage in barley［J］. *J Laiyang Agric Coll*，**17** (1)：29—31

Mooring MT，Cooper AW，Seneca ED，1971．Seed germination response and evidence for height ecophenes in *Spartina alterniflora* from North Carolina［J］. *Amer J Bot*，**58** (1)：48—55

Ou J (欧健)，Lu CY (卢昌义)，2006．Establishment of risk assessment index system for alien plants in Xiamen：case study of smooth cordgrass［J］. *J Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡)，**25** (3)：437—444

Plyler DB，Carrick Kevin M，1993．Site-specific seed dormancy *Spartina alterniflora* in (Poaceae)［J］. *Amer J Bot*，**80** (7)：752—756

Shi FC (石福臣)，Bao F (鲍芳)，2007．Effects of salt and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass，*Spartina alterniflora*［J］. *Acta Ecol Sin* (生态学报)，**27** (7)：2733—2741

Sun SM (孙飒梅)，2005．Monitoring of smooth cordgrass invasion by remote sensing in Sandu Bay，Fujian［J］. *J Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡)，**24** (2)：223—227

Wang Q (王卿)，An SQ (安树青)，Ma ZJ (马志军) *et al.*，2006．Invasive *Spartina alterniflora*：biology，ecology and management［J］. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报)，**24** (5)：559—588

Wijte AHBM，Gallagher JL，1996a．Effect of oxygen availability and salinity on early life history stages of salt marsh plants．Ⅰ Different germination strategies of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* (Poaceae)［J］. *Amer J Bot*，**83** (10)：1337—1342

Wijte AHBM，Gallagher JL，1996b．Effect of oxygen availability and salinity on early life history stages of salt marsh plants．Ⅱ Early seedling development advantage of *Spartina alterniflora* over *Phragmites australis* (Poaceae)［J］. *Amer J Bot*，**83** (10)：1343—1350

Xiao Q (肖强)，Zheng HL (郑海雷)，Chen Y (陈瑶) *et al.*，2005．Effects of salinity on the growth and proline，soluble sugar and protein contents of *Spartina alterniflora*［J］. *Chin J Ecol* (生态学杂志)，**24** (4)：373—376

Xu BM (徐本美)，Gu ZH (顾增辉)，1983．The seed vitality and mensuration［J］. *Agriculture Technology* (农业新技术)，**1**：35—41

Xu GW (徐国万)，Zhuo RZ (卓荣宗)，1985．Preliminary studies of introduced *Spartina alterniflora* Loisel in China (Ⅰ)［J］. *J Nanjing Univ* (南京大学学报)，**Suppl.**：212—225

Zhang MJ (张洁明)，SunJK (孙景宽)，Liu BY (刘宝玉) *et al.*，2006．Effect of salt stress on seed germination of *Vitex negundo*，*Fraxinus velutina* and *Elaeagnus angustifolia*［J］. *Bull Bot Res* (植物研究)，**26** (5)：595—599

Zhang ZR (张正仁)，Jing MD (经美德)，Qin P (钦佩) *et al.*，1985．Preliminary report on salt tolerance response of *Spartina alterniflora* grown in sand culture［J］. *J Nanjing Univ* (南京大学学报)，**Suppl.**：268—279